



Фізичні основи лазерних технологій

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>заочна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>III курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ECTS (120 годин): (16 год. – лекції, 4 год. – практичні, 4 год. – лабораторні, СРС – 96 год.)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік / МКР / РГР</i>
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: ст.. викл. Козирев Олексій Сергійович, kozyriev.oleksii@lll.kpi.ua Практичні: ст.. викл. Козирев Олексій Сергійович, kozyriev.oleksii@lll.kpi.ua Лабораторні: ст.. викл. Козирев Олексій Сергійович, kozyriev.oleksii@lll.kpi.ua</i>
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/u/1/c/Mjc3MzI0MjE3MzgZ

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Лазерні технології базуються на комплексі взаємопов'язаних фізичних явищ, таких як поглинання випромінювання, формування джерела теплоти, нагрівання, плавлення, випаровування, рух розплавленого металу під дією зворотного тиску металевих парів або технологічного газу, взаємодія продуктів руйнування з променем і вплив такої взаємодії на кінцеві результати лазерної обробки, іонізація та оптичний пробій, тощо. Саме розуміння таких явищ, здатність описати їх кількісно, дозволяє як опанувати різноманітні лазерні технології, так і розробляти нові. Тому знання фізичних основ лазерних технологій необхідне для повноцінної інженерної освіти з лазерної техніки та фізико-технічних технологій.

Мета дисципліни: формування у студентів уявлень про фізичне підґрунтя лазерних технологій для подальшого освоєння технологічних і конструкторських розділів освітньої програми.

Завдання дисципліни - дати студентам сучасні знання зі спеціальних розділів фізики, які вивчають ті чи інші аспекти взаємодії випромінювання з матеріалом.

Предмет дисципліни: фізичні явища, на яких базуються лазерні технологічні процеси, їх кількісний опис.

При вивченні дисципліни «Фізичні основи лазерних технологій» детально вивчаються спеціальні задачі теорії теплопровідності, плавлення та випаровування, моделі лазерного руйнування. Окремо розглядаються процеси лазерного різання безперервним та імпульсно-періодичним випромінюванням, параметри газолазерного різання, вплив енергетичних, оптичних та газодинамічних параметрів на процеси лазерного різання.

Вивчення навчальної дисципліни передбачає підсилення та розвиток у студентів компетентностей, передбачених ОПП «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (ФК)

- ФК 1** Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки
- ФК 12** Здатність оцінювати та контролювати параметри концентрованих джерел енергії під час генерації та при взаємодії випромінювання з речовинами та розробляти рішення для забезпечення їх стабільності
- ФК 13** Здатність застосовувати фундаментальні наукові факти, концепції, теорії, принципи щодо характеру та особливостей фізичних процесів при взаємодії концентрованого випромінювання з речовиною, оцінювати коефіцієнт поглинання, знаходити способи його підвищення
- ФК 14** Здатність використовувати знання в галузі фізико-хімічних, термодформаційних та металургійних процесів для обґрунтованого призначення способів і технологічних параметрів зварювання і споріднених процесів
- ФК 15** Здатність використовувати знання в галузі фундаментальних наук для вирішення технічних задач зі зварювання та споріднених технологій

Програмні результати навчання

- РН 1** Вибирати та застосовувати для розв'язання задач прикладної механіки придатні математичні методи
- РН 2** Використовувати знання теоретичних основ механіки рідин і газів, теплотехніки та електротехніки для вирішення професійних завдань
- РН 9** Знати та розуміти суміжні галузі (механіку рідин і газів, теплотехніку, електротехніку, електроніку) і вміти виявляти міждисциплінарні зв'язки прикладної механіки на рівні, необхідному для виконання інших вимог освітньої програми
- РН 19** Розраховувати, оцінювати та вимірювати енергетичні, часові та просторові параметри впливу лазерного випромінювання та концентрованих потоків енергії на речовину для здійснення технологічних операцій
- РН 20** Знати і розуміти фізичні, теплові, термомеханічні та фізико-хімічні процеси при зварюванні та споріднених технологіях, причинно-наслідкові зв'язки між характером цих процесів та умовами отримання нерознімних з'єднань або функціональних поверхонь

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Для успішного засвоєння матеріалу освітнього компоненту необхідні знання, які одержуються студентом у попередніх курсах: «Вища математика», «Загальна фізика» та «Фізика взаємодії концентрованих потоків енергії з речовиною».

Знання, які одержано під час вивчення освітнього компоненту, забезпечують опанування наступних курсів за навчальними планами підготовки бакалаврів можуть бути використані в переддипломній практиці та дипломному проектуванні.

3. Зміст навчальної дисципліни

Вступ. Основні характеристики фізичних процесів під час лазерної обробки

Розділ 1. Теплові ефекти в конденсованому середовищі

Тема 1.1 Теплові ефекти твердого стану

Тема 1.2 Фазові переходи у твердому стані

Розділ 2. Лазерне плавлення

Тема 2.1 Особливості лазерного плавлення

Тема 2.2 Характерні форми ванни розплаву та умови їх виникнення

Розділ 3. Руйнування матеріалів під дією лазерного випромінювання

Тема 3.1 Особливості руйнування матеріалів під дією лазерного випромінювання

Тема 3.2 Кінетика випаровування плоскої поверхні

Тема 3.3 Теплофізика переходу від нагріву до випаровування

Тема 3.4 Задача про лазерне нагрівання з випаровуванням

Тема 3.5 Витіснення розплаву надлишковим тиском парів

Тема 3.6 Існуючі теоретичні моделі процесів лазерної розмірної обробки

Тема 3.7 Тепловий механізм руйнування

Тема 3.8 Феноменологічна модель руйнування

Розділ 4. Фізичні особливості лазерної різки матеріалів

Тема 4.1 Загальні характеристики лазерного різання матеріалів

Тема 4.2 Характеристики лазерного різання металів безперервним випромінюванням

Тема 4.3 Характеристики лазерного різання металів імпульсно-періодичним випромінюванням

Тема 4.4 Лазерне різання неметалевих матеріалів

Розділ 5. Технологічні характеристики ГЛР різних металів

Тема 5.1 Групи металів

Тема 5.2 Якість різання різних металів

Тема 5.3 Вплив енергетичних параметрів на розмірні характеристики різі

Тема 5.4 Вплив оптичних параметрів на розмірні характеристики різі

Тема 5.5 Вплив газодинамічних параметрів на розмірні характеристики різі

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Черненко В. С., Ківдрачук М. В., Дудка О. І. Променеві методи обробки: Навч. посібник. — К.: Кондор, 2004. — 166 с. — ISBN 966-7982-70-X
2. Основи фізики лазерів: навчальний посібник / В.П. Гаращук. — Київ: Пульсари, 2012. — 342с
3. Котляров В.П. Технологія лазерної обробки (операції розмірної обробки). Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, - 2010. — 308с.
4. Інженерія поверхні: Підручник / К. А. Ющенко, Ю. С. Борисов, В. Д. Кузнецов, В. М. Корж — К.: Наукова думка, 2007. — 559 с. — ISBN 978-966-00-0655-3
5. Афанасьєва О. В., Лалазарова Н. О., Федоренко Є. П. Лазерна поверхнева обробка матеріалів. Харків : ФОП Панов А. М., 2020. 100 с.

Додаткова література

1. Яковлев Є.Б., Шандибіна Г.Д. Взаємодія лазерного випромінювання із речовиною (силова оптика). НДУ ІТМО, 2011.

2. Фізика взаємодії концентрованих потоків енергії з речовиною – 2. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів до вивчення кредитного модуля для студентів спеціалізації «Лазерна техніка та комп'ютеризовані процеси фізико-технічної обробки» спеціальності 131 Прикладна механіка. Уклад. В.В. Романенко, О.С. Козирев, – К.: НТУУ «КПІ», 2017. – 13 с.

Інформаційні ресурси

1. tft.kpi.ua (сайт кафедри ЛТФТ)
2. campus.kpi.ua (сайт КАМПУС'у)
3. library.ntu-kpi.kiev.ua (сайт науково – технічної бібліотеки НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)
4. Google Classroom: <https://classroom.google.com/u/1/c/Mjc3MzI0MjE3Mzgz>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчальний матеріал освітнього компоненту викладається на заняттях згідно зі наступною структурою (табл. 1).

Табл. 1. Структура викладання освітнього компоненту

Назви розділів та тем	Кількість годин				
	Усього	У тому числі			СРС
		Лекції	Практ. заняття	Лаб. роб.	
Вступ					
Основні характеристики фізичних процесів під час лазерної обробки	2				2
Розділ 1. Теплові ефекти в конденсованому середовищі					
Тема 1.1 Теплові ефекти твердого стану	2				3
Тема 1.2 Фазові переходи у твердому стані	4	2			3
Разом за розділом 1	10	2	0	0	8
Розділ 2. Лазерне плавлення					
Тема 2.1 Особливості лазерного плавлення	3	1			2
Тема 2.2 Характерні форми ванни розплаву та умови їх виникнення	3	1			2
Разом за розділом 2	6	2	0	0	4
Розділ 3. Руйнування матеріалів під дією лазерного випромінювання					
Тема 3.1 Особливості руйнування матеріалів під дією лазерного випромінювання	2	1			2
Тема 3.2 Кінетика випаровування плоскої поверхні	2				2
Тема 3.3 Теплофізика переходу від нагріву до випаровування	3	1			2
Тема 3.4 Задача про лазерне нагрівання з випаровуванням	2	1			2
Тема 3.5 Витіснення розплаву надлишковим тиском парів	2	1			2
Тема 3.6 Існуючі теоретичні моделі процесів лазерної розмірної обробки	3		2		2

Тема 3.7 Тепловий механізм руйнування	3	1			2
Тема 3.8 Феноменологічна модель руйнування	5	1		2	2
Разом за розділом 3	26	6	2	2	16
Модульна КР - 1	4		0		4
Розділ 4. Фізичні особливості лазерної різки матеріалів					
Тема 4.1 Загальні характеристики лазерного різання матеріалів	6	2			6
Тема 4.2 Характеристики лазерного різання металів безперервним випромінюванням	10	1	1	2	6
Тема 4.3 Характеристики лазерного різання металів імпульсно-періодичним випромінюванням	6	1	1		4
Тема 4.4 Лазерне різання неметалевих матеріалів	4				4
Разом за розділом 4	28	4	2	2	20
Розділ 5. Технологічні характеристики ГЛР різних металів					
Тема 5.1 Групи металів	2				2
Тема 5.2 Якість різання різних металів	4				4
Тема 5.3 Вплив енергетичних параметрів на розмірні характеристики різку	2				2
Тема 5.4 Вплив оптичних параметрів на розмірні характеристики різку	2				2
Тема 5.5 Вплив газодинамічних параметрів на розмірні характеристики різку	4	2			2
Разом за розділом 5	14	2	0	0	12
Модульна КР - 2	4		0		4
РГР	16				16
Залік	12				12
Всього годин	120	16	4	4	96

5.1 Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Фазові переходи у твердому стані Завдання на СРС: В чому відмінність переходів у металевих та неметалевих сплавах? Література: основна – [1,2]; додаткова –[1,2].
2	Особливості лазерного плавлення. Характерні форми ванни розплаву та умови їх виникнення Завдання на СРС: Оптимальні умови існування ванни розплаву. Існуючі моделі «глибокого проплавлення» Література: основна – [1,2]; додаткова –[1,2].
3	Особливості руйнування матеріалів під дією лазерного випромінювання. Кінетика випаровування плоскої поверхні. Теплофізика переходу від нагріву до випаровування. Задача про лазерне нагрівання з випаровуванням Література: основна – [1,2]; додаткова –[1,2].
4	Задача про лазерне нагрівання з випаровуванням. Витіснення розплаву надлишковим тиском парів. Література: основна – [1,2]; додаткова –[1,2].

5	Тепловий механізм руйнування. Феноменологічна модель руйнування Завдання на СРС: Які фізичні явища ігнорують моделі? Чому? Література: основна – [1,2]; додаткова –[1,2].
6	Загальні характеристики лазерного різання матеріалів Література: основна – [3]; додаткова –[1,3].
7	Характеристики лазерного різання металів безперервним випромінюванням. Характеристики лазерного різання металів імпульсно-періодичним випромінюванням Література: основна – [3]; додаткова –[1,3].
8	Вплив енергетичних, оптичних та газодинамічних параметрів на розмірні характеристики різу Література: основна – [3]; додаткова –[1,3].

5.2 Практичні заняття

Цикл практичних занять має ціллю закріплення головних тем освітнього компоненту, які засвоєно теоретично. Оскільки предметом дисципліни є фізичні процеси, які мають місце при застосуванні лазерних технологій та їх кількісний опис, основними завданнями циклу практичних занять є засвоєння конкретних питань, отримання навичок та умінь у фізичних та інженерних розрахунках.

№ з/п	Назва теми заняття	Кількість ауд. годин
1	Існуючі теоретичні моделі процесів лазерної розмірної обробки. Тепловий механізм руйнування. Феноменологічна модель руйнування	2
2	Лазерне різання металів безперервним та імпульсно-періодичним випромінюванням	2

5.3 Лабораторні заняття

Цикл лабораторних робіт має ціллю практичного закріплення головних тем освітнього компоненту, які вивчено теоретично.

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	Тепловий механізм руйнування. Феноменологічна модель руйнування Ціль роботи: Ознайомитися з аналітичними залежностями результатів лазерної розмірної обробки від керованих параметрів процесу; виконати перевірочний розрахунок режимів обробки отворів по аналітичним моделям; провести обробку отворів; оцінити відповідність результатів.	2
2	Лазерне різання металів безперервним випромінюванням Ціль роботи: Ознайомитися з аналітичними залежностями результатів лазерного різання металів безперервним випромінюванням від керованих параметрів процесу; виконати перевірочний розрахунок режимів лазерного різання; провести досліди та оцінити відповідність результатів.	2

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота займає 80 % часу (96 год.). Самостійна робота (96 год.) студента полягає у підготовці до лекційних (22 год.), лабораторних (6 год.) і практичних (8 год.) занять, шляхом опрацювання рекомендованої літератури (24 год.), виконання розрахунково-графічної роботи (16 год.), підготовці до модульних контрольних робіт (8 год.), а також у підготовці до заліку (12 год.).

№ з/п	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу	Кількість годин СРС
1	Теплові ефекти в конденсованому середовищі Завдання на СРС: В чому відмінність переходів у металевих та неметалевих сплавах? Література: основна – [1,2]; додаткова –[1,2].	6
2	Особливості лазерного плавлення. Характерні форми ванни розплаву та умови їх виникнення Завдання на СРС: Оптимальні умови існування ванни розплаву. Існуючі моделі «глибокого проплавлення» Література: основна – [1,2]; додаткова –[1,2].	4
3	Тепловий механізм руйнування. Феноменологічна модель руйнування Завдання на СРС: Які фізичні явища ігнорують моделі? Чому? Література: основна – [1,2]; додаткова –[1,2].	24
4	Фізичні особливості лазерної різки матеріалів Завдання на СРС: Які схеми обробки та формування різку існують? Які механізми руйнування використовуються, коли і чому? Література: основна – [3]; додаткова –[1,3].	14
5	Лазерне різання неметалевих матеріалів Завдання на СРС: Які групи неметалевих матеріалів піддаються лазерному розкрою? В чому полягають основні проблеми при лазерному різанні таких матеріалів? Література: основна – [3]; додаткова –[1,3].	12

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять

Форми організації освітнього процесу, види навчальних занять і оцінювання результатів навчання регламентуються Положенням про організацію освітнього процесу в Національному технічному університеті України «Київському політехнічному інституті імені Ігоря Сікорського»..

Правила поведінки на заняттях

Активність студентів на лекційних, практичних та лабораторних заняттях всіляко заохочується. Проведення занять базується на засадах доброзичливого партнерства задля досягнення мети вивчення дисципліни. Разом з тим, проведення занять має відповідати Дисциплінарним правилам, які діють в КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Правила захисту лабораторних робіт

Після представлення готового протоколу лабораторної роботи, який має містити всі необхідні компоненти (тема, ціль роботи, короткі теоретичні відомості, методи та результати вимірювання та обробки результатів, графічні ілюстрації, висновок) студент (або група студентів, якщо таке передбачено) надають пояснення, яким чином було досягнуто ціль роботи і відповідають на додаткові запитання, якщо в них виникне потреба.

Правила захисту індивідуальних завдань

Робочий навчальний план передбачає виконання розрахунково-графічної роботи, завдання на яку індивідуальне для кожного студента. Після представлення оформленої роботи з усіма необхідними розрахунками, РГР оцінюється за критерієм правильності отриманих результатів.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

Заохочувальні та штрафні бали не передбачені.

Політика дедлайнів та перескладань

Дана політика регулюється Положенням про організацію освітнього процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського, Положенням про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського, Положенням про апеляції в КПІ ім. Ігоря Сікорського та багатьма іншими документами.

Політика щодо академічної доброчесності

Академічна недоброчесність неприпустима. Система індивідуальних завдань на лабораторні та РГР дозволяє максимально уникнути списування, а унікальність завдань дозволяє уникнути плагіату.

7. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Рейтинг студента складається з балів, що він отримує за:

1. Виконання 2 практичних робіт.
2. Виконання 2 лабораторних робіт.
3. Виконання двох МКР.
4. Виконання РГР

Система рейтингових балів та критерії оцінювання:

1. Практичні роботи
Максимальна кількість балів за всі роботи – 4.
а) вірна відповідь/вирішення задачі – 2 бали
б) частково вірна/неповна відповідь/вирішення задачі – 1 бал
в) невірна відповідь/відсутність на занятті – 0 балів
2. Лабораторні роботи
Максимальна кількість балів за всі роботи – 4.
а) повне виконання лабораторної роботи – 1-2 бали
б) неповне виконання лабораторної роботи /відсутність на занятті – 0 балів
3. МКР
Максимальна кількість балів за дві МКР – $25+25=50$.
а) повна відповідь, вільне володіння матеріалом – 20-25 балів
б) задовільна відповідь – 15-19 балів
в) неповна відповідь – 10-14 балів
г) незадовільна відповідь – 0-9 балів
4. РГР
Максимальна кількість балів – 42.
Правильне рішення всіх завдань – 32-42 балів
Частково правильне 24-31 балів
Зі значними похибками 10-23 бали
Невірні/відсутні рішення 0-9 балів

Приклад завдання на РГР:

Лазерне випромінювання генерується в режимі одиночних імпульсів (енергія, тривалість) з параметрами (довжина хвилі, апертура, кут розбіжності, відстань до фокусуєчої системи) та фокусується лінзою з параметрами (діаметр, матеріал, форма, фокусна відстань) на матеріал (теплофізичні параметри, коефіцієнт відбиття).

Знайти:

- умови фокусування, за яких на поверхні почнеться плавлення; час до початку плавлення;
- умови фокусування, за яких на поверхні почнеться випаровування; час до початку випаровування;
- оцінити глибину фокусу;
- знайти максимальну глибину плавлення за даних умов;
- знайти параметри руйнування в тепловому режимі за умов «гострого» фокусування
- знайти результати обробки за феноменологічною моделлю за умов «гострого» фокусування
- для даного імпульсу і умов фокусування знайти діапазон швидкостей при імпульсно-періодичному різанні
- для заданого матеріалу та параметрів випромінювання (потужність, радіус фокусування) знайти параметри газолазерного різання

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає: $R_C=4+4+50+42=100$ балів

Рейтингова шкала з дисципліни складає: 100 балів

Необхідною умовою допуску до заліку є зарахування всіх практичних та лабораторних робіт, виконання МКР та РГР. У випадку, якщо сума балів дорівнює або перевищує 60 балів, оцінка може бути зарахована в якості залікової. студенти, які не добрали балів до залікової оцінки, складають додаткове теоретичне опитування за матеріалами дисципліни.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Приблизний перелік питань, які виносяться на семестровий контроль

1. Теплові ефекти в конденсованому середовищі
2. Теплові ефекти твердого стану
3. Фазові переходи у твердому стані
4. Лазерне плавлення
5. Особливості лазерного плавлення
6. Характерні форми ванни розплаву та умови їх виникнення

7. Руйнування матеріалів під дією лазерного випромінювання
8. Особливості руйнування матеріалів під дією лазерного випромінювання
9. Кінетика випаровування плоскої поверхні
10. Теплофізика переходу від нагріву до випаровування
11. Випаровування під дією лазерного випромінювання.
12. Особливості руйнування під дією лазерного імпульсу.
13. Кінетика процесу руйнування.
14. Тепловий механізм руйнування.
15. Квазістаціонарне руйнування.
16. Феноменологічна модель руйнування.
17. Етапи взаємодії лазерного випромінювання з речовиною.
18. Загальні характеристики процесів лазерної різки матеріалів.
19. ГЛР з використанням кисню.
20. Закономірності лазерної різки безперервним випроміненням.
21. Закономірності лазерної різки імпульсно-періодичним випроміненням.
22. Загальні характеристики ГЛР різних металів.
23. Загальні характеристики лазерного різання неметалів.
24. ГЛР вуглецевих сталей.
25. ГЛР нержавіючих сталей.
26. ГЛР титану
27. ГЛР алюмінію.
28. Параметри обробки, що впливають на розмірні характеристики різки.
29. Вплив газодинамічних параметрів.
30. Вплив енергетичних параметрів.
31. Вплив оптичних параметрів.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено

к.т.н., доц.. Романенко В.В., ст.. викл. Козирев О.С.

Ухвалено кафедрою Лазерної техніки та фізико-технічних технологій (протокол № 5 від 17.11.2023)

Погоджено Методичною комісією Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона (протокол № 5/23 від 11.12.2023)